

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

空調主機用電卸載之節能與舒適度控制之研究

A Study of Energy-saving and Thermal Confort Control on Air-conditioning System Using a direct load control method

計畫編號：NSC 90-2213-E-018-005

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：黃裕煒 國立彰化師範大學電機工程學系

計畫參與人員：吳志宏、林佑澤、蔡佩珊

一、中文摘要

本計畫針對傳統空調系統用電最大之冰水主機規劃自我學習之電力卸載流程，提昇空調用電之效率與減低夏季尖峰用電。同時對節約能源與舒適度問題，根據最小焓值法自動決定舒適度空氣圖上最佳的工作點，以獲得室內溫、濕度的控制設定值。本計畫將逐年在夏季分別採用類神經網路(Neural Network)、模糊(Fuzzy)理論與灰色理論等控制器，根據室內溫度、濕度條件作熱負荷預測，並配合室外溫濕度變化作擾動預測，以決定送風機之輸出風量，達到節約能源與維持舒適度的目的。

關鍵詞：直接負載控制，尖峰負載，空調舒適，模糊控制

Abstract

The first thing for saving energy of the air-conditioning (AC) system is to analyze the thermal load in the thermal space. The change of the thermal space being heated or cooled is the alteration of the Enthalpy of the air. The use of computer can estimate the enthalpy of air in the thermal space. According to the estimation of the enthalpy makes adjust the output of the control system in AC. The theory of the Enthalpy can be used to predict the future condition of air in thermal space.

Among the superior central

air-conditioning systems, the most part to consume the power is the ice water producing system. The direct load control of HVAV system will plan the self-regulating on/off control loop to improve the power efficiency during each summer by using Fuzzy thermal confort control method.

Keywords: direct load control, peak load, thermal confort, Fuzzy control

二、緣由與目的

於工商業發展，國民所得的提高，近年來台灣地區用電量與日俱增，年年夏季尖峰用電迭創新高。用電的增加以消費性空調用電為主，夏季電力日負載曲線變化很大，尤其在下午 2 點出現日最高氣溫時，正是尖峰負載的發生時間，足見空調用電影響夏季尖峰負載之大，形成電力開發的壓力，更是夏季限電的危機因子。根據台灣電力公司的統計資料分析，最近五年內，夏季空調用電均佔系統尖峰用電約 30%以上，以民國九十年年夏季尖峰負載達 2690MW，約有 7388MW 為空調用電。因此用電節約以空調用電的節省最為有效。

台電為抑制尖峰用電制定電費優待辦法獎勵大型空調系統每小時卸載 15 分鐘，或在用戶端裝設遙控設備，直接控制負載，以減少空調用電，是抑制尖峰負載最直接、有效的方法。雖然達到抑制尖峰負荷的目的，用戶卻常抱怨空間太熱與不舒

適，以致減低用戶配合的意願。用戶裝設空調的主要目的在維持空間的舒適條件，因此為抑制尖峰負載，希望用戶共體時艱，實際上有困難。如何能兼顧抑制尖峰負載與用戶舒適度的平衡點，實有研究的必要。

所謂舒適空調就是對空氣做處理，同時控制其乾球溫度、相對濕度，期望能達到空調空間內舒適的要求。本計劃以 ANSI/ASHRAE55-1992 及 ASHRAE RP-884 所公佈之夏季人體舒適圖和有效溫度曲線圖作為判斷舒適度的依據。空調空間為非線性、時變 (Nonlinear & Time Variance) 的特性，實在無法使用線性化的特例來處理這種複雜的特性，不過負載預估實是空調控制最重要的步驟。事實上，由任何觀點來看空調控制的問題均不離維持空間合理的舒適度及節省能源耗用兩大重點，當然控制器的可靠性同樣重要。這種典型的非線性控制系統，不論時間延遲、長時效應或擾動的互相干擾等問題，均非傳統 ON/OFF 控制及 PID 控制能作有效處理。因此本計劃採用模糊(Fuzzy)控制器，根據室內舒適度控制條件做熱負荷預測並配合室外溫、溼度作擾動預測，使控制點具有彈性，不但可維持相同的舒適度，更可以達到節能的效果。

根據上述相關研究背景，本計劃以彰化地區夏季空氣狀況，對傳統空調系統用電最大之冰水主機規劃自我學習之電力卸載流程，提昇空調用電之效率與減低夏季尖峰用電。同時以舒適度曲線評估舒適度，引入模糊控制的理論方法，對室內送風機作控制，研究室內舒適度之趨勢與省能效果；並分析不同干擾對模糊可變風量空調控制器控制空調運轉結果之影響。

本計劃針對送風機直接影響空調舒適度部分的控制做研究，提出中央空調舒適及省能控制方法和概念，可供空調設計人員做全系統省能設計參考。其實有良好的舒適控制，不但

可達到安裝空調的舒適目的，更可設計較小安全係數的空調系統，達到節約能源的目標。

三、結果與討論

1. 類神經網路控制器控制特性

本研究所設計中央空調控制系統根據學習之經驗法則，不論是室內熱負荷預測或室外天候擾動干擾等控制特性均有良好之表現。根據有關之控制器特性實驗，如圖 1 所示。計有 A—I 等十一個狀況個狀況，可以觀察此控制器在控制可變風量送風機時，確實能依據學習的控制法則做出適切的反應，以消除室內熱負荷改變或室外天候變動等影響因素之干擾。以下則針對 A—I 等十一個狀況個狀況，其分別受到哪些因素之影響所致作分析。

狀況 A：室內起始條件為悶熱且相對濕度較高，其啟動之送風機控制電壓初設值為 3，但因室內溫度過高，控制器起始送風量漸增，直到室內溫度變項達到接近設定值。狀況 A 的主控變項為室內溫度。

狀況 B：當空調空間經控制系統處理後，已達到穩定，空間舒適度維持在接近 100% 附近，控制器則根據室內隨時變動的熱負荷，隨時調整送風量以維持空間舒適。狀況 B 的主控變項為室內溫度與相對濕度。

狀況 C：此狀況為實驗者引進外氣，觀察控制器面對干擾時之適應性，當空調空間經引進外氣後，室內舒適條件開始變差，室內溫度略為升高，控制系統希望處理空間舒適度以維持在接近 100% 附近，但是因為外氣持續引進，控制器逐漸加大送風機送風量以抑制室內溫度升高。狀況 C 的主控變項為室內溫度與室外溫度。

狀況 D：外氣引進干擾已經結束，空調空間經控制系統處理，控制器則逐漸修正前一狀況所加大的送風量，以維持空間舒適度在接近 100% 附近，主要根據室內修正且變動的熱負荷，隨時修正送風量以維持空間舒適，室內舒適度則因送風量修正中變化較多。狀況 D 的主控變項為室內溫度與相對濕度。

狀況 E：空調空間經控制系統處理後，無較大變動因素，空間舒適度穩定維持在接近 100% 附近，控制器完全掌握空間的負載。狀況 E 的主控變項為室內溫度與相對濕度。在此狀況中室內溫度變化與相對濕度變化呈現出最小烓值估算器的省能設定特性，即室內濕度降低時，室內溫度便調高。

狀況 F：此狀況為實驗者進行持續性引進大量外氣，觀察控制器面對大干擾時之適應性與失控之情形，當空調空間經引進大量外氣後，空調空間室內舒適條件急遽變差，室內溫度逐漸升高，控制器逐漸加大送風機送風量以抑制室內溫度升高，但是因為外氣持續大量引進，送風機送風量已達最大值，無法再加大，此時空調空間之溫濕度條件如同定風量系統一般，變動頗大。狀況 G 的主控變項為室內溫度與室外溫度。

狀況 G：結束長達 60 分鐘之大量外氣引進干擾過程，在最大送風量處理下，空調空間仍因干擾產生室內溫度上升，最初控制器仍以最大輸出，逐漸消除室內濕度過高的現象。之後根據室內修正且變動的熱負荷逐漸調整送風量，以維持空間舒適度在接近 100% 附

近。狀況 I 的主控變項為室內相對濕度。

狀況 H：在此狀況中室內溫度變化與相對濕度變化仍呈現出最小烓值估算器的省能設定特性。此時室外天氣已經開始改變，但室內溫度尚未受到室外天氣影響，空間舒適度仍穩定維持在接近 100% 附近，但控制器已逐漸修正控制信號。狀況 F 的主控變項仍為室內溫度與相對濕度。

狀況 I：在此狀況中空間舒適度已穩定維持在接近 100% 附近，無較大變動因素產生，控制器則依照控制法則穩定運轉。狀況 K 的主控變項為室內溫度與相對濕度。

2. 氣溫對熱負荷與控制器之省能分析

採用模糊控制器(FUZZY)與商用溫控開關控制器分別在連續 24 小時運轉中，隨著日夜溫度變化，可清楚看出模糊控制器對能源分配平均的特性。採用模糊控制器能一拒赴載變化而調整，因應負載變化而有良好的控制行為，在耗用能源方面有不錯的節省空間。由耗能統計數據可看到採用模糊控制器節省能源的特性，更可看出採用商用溫控開關控制器的耗用能源變化差異之大。對電力系統的電能控制而言，這兩者間參數變化，可知採用模糊控制器確有減少尖峰負載受氣溫變化影響的權值。

3. 類神經網路控制器在主機卸載時間與舒適度分析

本計劃在空調主機卸載前，類神經網路控制器會自行將舒適度降為 85%，此一預先調降舒適度的時間分別為 3、5 分鐘，並利用先前的冰水妥善分配在卸載期間內，能使卸載時間達到 20 分鐘而空間舒適度能維持在 80% 以上，不至於產生卸

載期間空間過熱的情形。本實驗在夏季七～八月進行，以 30 分鐘為一週期分別進行卸載 10、12、15 分鐘等不同時間，其中 20 分鐘的電流、舒適度與控制曲線，如圖 2 所示。此實驗在 91 年 7 月 31 日下午。

四、計畫成果自評

有關控制舒適度的過程，分為冰水主機運轉模式和卸載模式兩種。在冰水主機運轉模式時的舒適度控制，在完成的國科會計劃 (NSC 87-2213-E-018-003) 已經獲得預期成果，本計畫採用模糊控制更能為空間舒適度在 95% 以上。但是在卸載模式進行舒適度控制，則是以類神經網路控制器由於缺乏空調主機提供的冷凍能力，舒適度的維持相當困難，不過類神經網路控制器在自我調整舒適度準以因應冰水主機停轉，舒適度能維持在 80% 附近，確實能提供卸載期間合理的舒適度控制。可以在空調主機卸載期間，提供良好的舒適度控制，將可以達成省電和降低電力系統尖峰負載的目的。

五、參考文獻

- [1] 程順德, 姚立德, 張文奇, 顏榮良, 陸台根, 林哲雄, "離心式中央空調主機降載控制之研究", 八十八年節約能源論文專輯, 民 88 年 5 月, 頁 176-187。
- [2] 朱記民, 吳志宏, 黃裕煒, 林志仰, 鐘太郎, "應用模糊控制在冬季舒適空調省能之研究", 八十九年節約能源論文專輯, 民 89 年 5 月, 頁 123-134。
- [3] 工研院能資所徐瑞鐘等七十人, "冷凍空調技術研究發展計劃", 能源領域重要計劃成效發表研討會, 民 84 年 4 月, 頁 1-32。
- [4] 鐘太郎, 朱記民, 黃裕煒, "達成中央空調舒適度與省能控制之研究", 台電工程月刊第 615 期, 民 88 年 11 月, 頁 58-73。
- [5] 姚立德, 王文博, 林哲雄, 顏榮良, 張文奇, "中、永和地區實施無線電直接控制空調負載之控制策略與成效", 台電工程月刊, 民 86 年 9 月, 頁 84-93。
- [6] 黃裕煒, 朱記民, 吳志宏, 鐘太郎, "類神經網路控制舒適空調之省能研究", 八十八年節約能源論文專輯, 民 88 年 5 月, 頁 161-175。
- [7] 林志仰, 黃裕煒, 鐘太郎, "應用模糊控制空調舒適度及省能控制之研究", 八十九論文, 民 89 年 6 月, 頁 56-59。
- [8] ASHRAE 1992 ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, "Thermal environment conditions for human occupancy." Atlanta American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc..
- [9] Hassani V., P. L. Miller, 1998, "Thermal Comfort and Cold Air Distribution", ASHRAE Transactions 104, pp.1763-1772.
- [10] ASHRAE 1993, "1993 ASHRAE Handbook-Fundamentals, chap.8. " Atlanta American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc
- [11] M.W. Gustafson, J.S. Baylor, Gary Epstein, "Estimating Air Conditioning Load Control Effectiveness Using an Engineering Model", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993, pp.972-978.
- [12] S. Kajl, P. Malinowsk, E. Czogala and M. Balazinski, "Prediction of Building thermal Performance Using Fuzzy Decision Support System", IEEE, 1995, pp.225-232.
- [13] G.S. Virk, D.L. Loveday and J.Y.M. Cheung, "Model-Based Control for BEMS", IEE, 1994, pp.901-905..
- [14] A.S. Betzaida and V.R. Miguel, "Design of a Nonlinear HVAC control system with thermal load Estimation", IEEE, 1995, pp. 33-39.

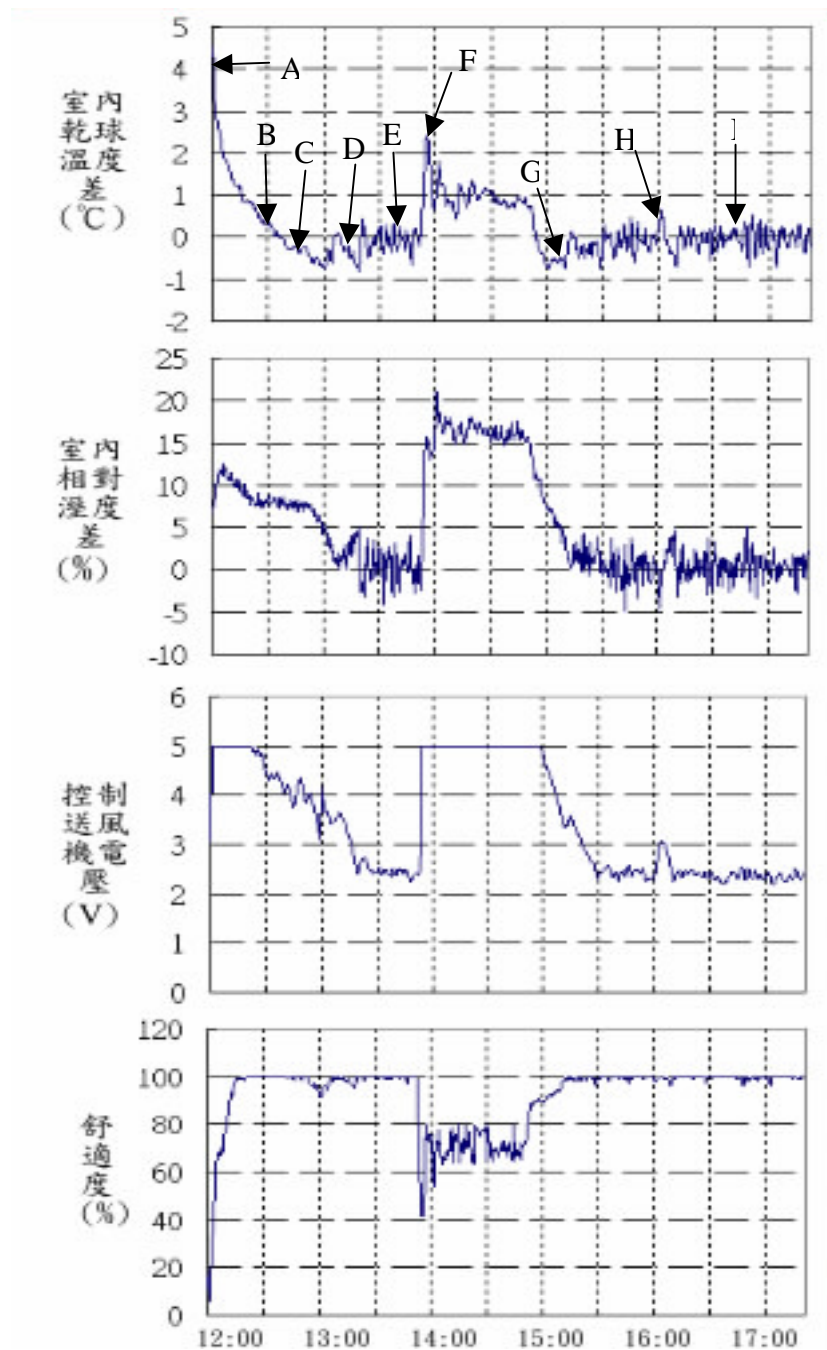


圖 1 類神經網路控制器特性分析曲線

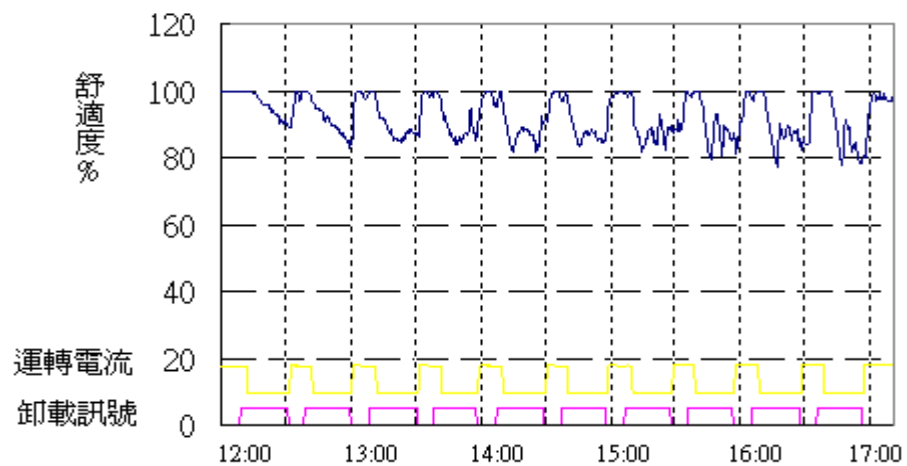


圖 2 卸載 20 分鐘的氣溫、電流及控制與舒適度曲線